

УДК 574:57.04

М. Г. Малева, Н. В. Чукина,
Г. Г. Борисова, О. С. Синенко,
Г. И. Ширяев, Е. В. Сливка

Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б. Н. Ельцина,
620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19,
maria.maleva@mail.ru

АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ *TIPHA LATIFOLIA* L. В УСЛОВИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ*

Ключевые слова: техногенное загрязнение, аккумуляция металлов, адаптивный потенциал, биомониторинг, фитостабилизация.

Деятельность предприятий по добыче и переработке цветных металлов нередко приводит к образованию искусственных геохимических провинций и техногенному загрязнению компонентов окружающей среды, включая гидроэкосистемы. Одним из таких предприятий является Карабашский медеплавильный комбинат (Челябинская область), в результате деятельности которого в окрестностях г. Карабаша сформировалась техногенная геохимическая аномалия [1].

Прибрежно-водные растения играют важную роль в самоочищении водных экосистем, подвергающихся техногенному воздействию. *Tipha latifolia* L. (рогоз широколистный, семейство Typhaceae) – один из немногих видов, способных произрастать в местообитаниях с экстремально высоким уровнем содержания токсичных элементов и низкой величиной pH [2]. Многими авторами показана высокая аккумулятивная способность *T. latifolia* в отношении тяжелых металлов (ТМ) [2, 3], однако адаптивные реакции растений этого вида, обеспечивающие жизнеспособность в условиях длительного экстремального техногенного стресса, изучены недостаточно.

Цель исследования – оценка аккумулятивной способности и структурно-функциональных особенностей *Tipha latifolia* L. в условиях экстремального техногенного воздействия для выявления адаптивного и ремедиационного потенциала.

Пробы воды, седиментов и растительный материал отбирали из фонового и импактного участков. Величину pH и электропроводности воды измеряли с использованием портативного pH-метра/кондуктометра («Hanna Instruments», Германия). Определение содержания ТМ в воде, седиментах, корнях и листьях *T. latifolia* проводили с помощью атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно связанной плазмой iCAP 6500 Duo («Thermo Scientific», США) после мокрого озоления 70% HNO₃ (осч.). В качестве интегрального показателя загрязнения использовали суммарный индекс токсической нагрузки, который рассчитывали, как: $S_i = (1/n) \sum (S_{\text{имп.}}/S_{\text{фон.}})_i$, где $S_{\text{имп.}}$ – концентрация *i*-го металла в воде или седиментах импактного участка, $S_{\text{фон.}}$ – концентрация *i*-го металла в фоновом участке, *n* – число металлов [4]. Коэффициент транслока-

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 02.А03.21.0006.

ции ТМ из корней в листья определяли как отношение содержания исследуемого металла в листьях к его содержанию в корнях. Количественная оценка структурных характеристик листа выполнена методом световой микроскопии с использованием специализированной программы. Содержание хлорофиллов и каротиноидов определяли спектрофотометрически в 80% ацетоновом экстракте. Скорость ассимиляции CO_2 измеряли на инфракрасном газовом анализаторе LI-6400XT («LI-COR», США) при насыщающей интенсивности света 1800 мкМ/(м² с), температуре 23 °С и влажности 50%. Интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) и показатели антиоксидантного статуса растений (содержание пролина, фенольных соединений и белковых тиолов) определяли спектрофотометрически согласно [5, 6].

В результате длительного техногенного воздействия КМК произошло значительное снижение pH воды (от 6,9 в фоновом до 3,5 в импактном участке) и возрастание электропроводности (в 17 раз). Величина суммарной токсической нагрузки импактного участка, рассчитанная по 9 металлам, составила 1077 и 18 относительных единиц для воды и седиментов, соответственно. Содержание металлов в корнях и листьях *T. latifolia* коррелировало с их концентрацией в воде и седиментах. Наибольшее количество металлов аккумулировали корни. Для изученных растений был характерен низкий коэффициент транслокации ТМ из корней в листья, что свидетельствует о значительной депонирующей способности корневой системы и устойчивости *T. latifolia* к высоким концентрациям металлов.

Снижение скорости ассимиляции CO_2 в листьях *T. latifolia* из импактного местообитания коррелировало с уменьшением содержания фотосинтетических пигментов. При этом наблюдались структурные перестройки фотосинтетического аппарата листа компенсаторного характера: уменьшение количества клеток мезофилла сопровождалось увеличением их объема. Вместе с тем достоверных изменений параметров хлоропластов не наблюдалось. К адаптивным перестройкам можно также отнести и существенное увеличение толщины эпидермиса и доли аэренхимы, что способствует выживанию растений в условиях многокомпонентного загрязнения.

Длительное техногенное воздействие приводило к развитию хронического окислительного стресса, что проявлялось в увеличении содержания продуктов ПОЛ в листьях растений из импактного участка (на 40% по сравнению с фоновым). Повышение интенсивности процессов пероксидации липидов сопровождалось активизацией синтеза пролина (на 12%), фенольных соединений (на 49%) и белковых тиолов (в 1,5 раза).

Таким образом, проведенное исследование свидетельствует о высоком адаптивном потенциале *T. latifolia* в условиях длительного техногенного воздействия. Очевидно, во многом это обусловлено компенсаторными структурными перестройками фотосинтетического аппарата и активизацией антиоксидантной системы. Положительная корреляция между содержанием металлов в среде и в биомассе позволяет рекомендовать использование растений данного вида как потенциального биомонитора. Благодаря корневой системе с повышенной депонирующей способностью *T. latifolia* обладает значительным фитостабилизационным потенциалом в условиях длительной и экстремальной высокой техногенной нагрузки.

Список литературы

1. *Yurkevich N. V., Saeva O. P., Karin Y. G.* Geochemical anomalies in two sulfide-bearing waste disposal areas: Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, and As in contaminated waters and snow, Kemerovo and Chelyabinsk regions, Russia // *Toxicological and environmental chemistry*. 2015. Vol. 97, № 1. P. 76–89.
2. *Bonanno G., Cirelli G. L.* Comparative analysis of element concentrations and translocation in three wetland congener plants: *Typha domingensis*, *Typha latifolia* and *Typha angustifolia* // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2017. Vol. 143. P. 92–101.
3. *Kumari M., Tripathi B. D.* Efficiency of *Phragmites australis* and *Typha latifolia* for heavy metal removal from wastewater // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2015. Vol. 112. P. 80–86.
4. *Безель В. С., Жуйкова Т. В., Позолотина В. Н.* Структура ценопопуляций одуванчика и специфика накопления тяжелых металлов // *Экология*. 1998. № 5. С. 376–382.
5. Методы оценки антиоксидантного статуса растений : учеб.-метод. пособие / Г. Г. Борисова и др. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2012. 72 с.
6. *Singleton V. L., Orthofer R., Lamuela-Raventos R. M.* Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent // *Methods in Enzymology*. 1999. Vol. 299. P. 152–178.

УДК 632.951:635.21:631.559

**Т. Х. Нкетсо, О. В. Ткаченко,
И. Д. Еськов, Ю. В. Суров**

*Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова,
410012, Россия, г. Саратов, ул. Театральная пл., 1
howardnketso@gmail.com*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЕ ФУНГИЦИДОВ В БОРЬБЕ С АЛЬТЕРНАРИОЗОМ КАРТОФЕЛЯ В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Ключевые слова: картофель, фунгициды, альтернариоз, урожайность.

Картофель является одной из важнейших сельскохозяйственных культур России и зарубежья. По объему производства картофеля Россия занимает третье место в мире после Китая и Индии [1]. Однако у ряда сортов и гибридов картофеля, выращиваемых в промышленных условиях, наблюдается низкая продуктивность. Главной причиной этого является поражаемость культуры различными болезнями.

Одной из них является альтернариоз, наносящий существенный ущерб производству. Его вредоносность определяется степенью поражения вегетирующей массы, уменьшением ассимиляционной поверхности листьев и изменениями